

## NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정 시스템의 구성

김영석\*, 김재열\*, 송인석\*\*, 꺾이구\*\*, 정정표\*\*\*, 한지희\*\*\*,

### The Organization of Measuring Systems of Linear Cycle Plane Positioning Accuracy on NC Lathes

Young-Seuk Kim\*, Jae-Yeol Kim\*, In-Suk Song\*\*, Lee-Ku Kwac\*\*,  
Jung-Pyo Jung\*\*\*, Ji-Hee Han\*\*\*,

#### Abstract

It is very important to measure linear cycle plane positioning accuracy of NC lathes as they affect those of all other machines machined by them in industries. For example, if the linear cycle plane positioning accuracy of each axes directions is bad, the accuracy of works will be wrong and the change-ability will be bad in the assembly of machine parts.

In this paper, computer software systems are organized to measure linear displacements of ATC(Automatic tool changer) of NC lathes using linear scale and time pulses coming out from computer in order to get data at constant time intervals from the sensors. And each sets of error data gotten from the test is expressed to plots by computer treatment and the results of linear cycle plane positioning error motion estimated to numerics by statistical treatments.

#### 1. 서론

현대의 산업기술이 고도로 발달해감에 따라 NC 선반은 높은 생산성과 높은 가공 정밀도등의 성능을 요구하고 있다. 이러한 고성능의 NC 선반에 의해 기계부품을 가공함에 있어 그 가공오차는 제품의 정밀도와 성능 및 품질에 영향을 미치는 것으로, 이러한 가공오차를 줄이는 것은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 그러므로, NC 선반의 위치결정 정도의 측정방법, 그리고 위치결정 오차운동의 표현방법과 그 위치결정 오차운동의 원인분석 및 나아가 NC 선반의 성능을 개선하는 방법등이 지속적으로 연구되어야 할 것으로 본다.

NC 선반에서 각 축의 직선 사이클 위치결정 정도 측정은 레이저 간섭계 시스템에 의해 측정하고 있으나 설치가 어려운 점이 있으며, 평면 위치결정 정도 측정은 현재까지 불가능한 것으로 알려져 있다. 이와 같이, 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정은 아직까지 측정하는 장비와 측정 시스템이 구축되지 않은 실정이다.

본 연구에서는 NC 선반의 직선 사이클 평면 위치결정 정도의 측정을 위해 광학식의 리니어 스케일(Linear Scale)을 사용하여 측정 시스템을 구축하고 측정을 위한 컴퓨터 소프트웨어 및 그 위치결정 오차운동의 분석과 그 위치결정 오차운동을 그림으로 표현하는 소프트웨어 시스템을 구성하였다.

\* 조선대학교 기계공학과

\*\* 조선대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\*\* 조선대학교 포항산업과학연구원 대학원

## 2. 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정원리

NC 선반의 직선 평면 위치결정 정도 측정원리 [1][2][3] 는 Fig 1.에서 보여주는 바와 같이 가공물 좌표계에서 측정 시작점의 위치를 좌표계의 원점 (0, 0)으로 놓고, 직선 평면 위치결정의 목표위치  $P(x, z)$ 와 직선 사이클 평면 위치결정후의 실제 위치  $P'(x', z')$ 와의 차로 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta P = P - P' \quad [1]$$

여기에서

$\Delta P = \Delta P(\Delta x, \Delta z)$ : 직선 평면 위치결정 오차 또는 위치편차( mm 또는  $\mu\text{m}$ )

$P' = P'(x', z')$ : 직선 평면 위치결정후의 실제위치(mm)

$P = P(x, z)$ : 직선 평면 위치결정의 목표위치(mm)

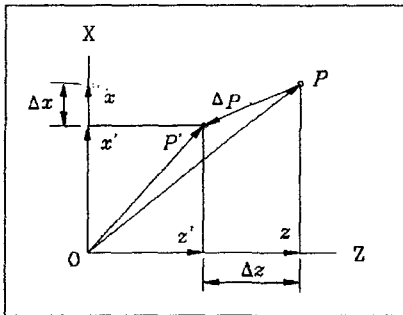


Fig. 1 Measuring principle of linear plane positioning

또, NC 선반에서 x-축방향과 z-축방향의 직선 평면 위치결정 오차 또는 위치편차는 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta x = x - x' \quad [2]$$

$$\Delta z = z - z' \quad [3]$$

여기에서,  $\Delta x$ : x-축 방향의 위치결정 오차 또는 위치편차( mm 또는  $\mu\text{m}$ ),

$\Delta z$ : z-축방향의 위치결정 오차 또는 위치편차( mm 또는  $\mu\text{m}$ ),

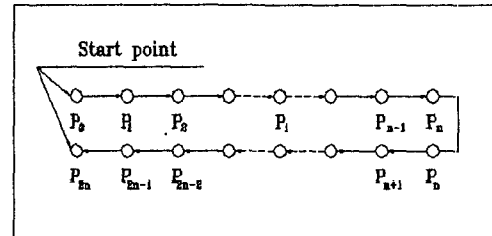
$x$ : x-축방향의 목표위치(mm),

$z$ : z-축방향의 목표위치(mm)

$x'$ : x-축방향의 실제위치(mm)

$z'$ : z-축방향의 실제위치(mm)

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정방법은 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이, NC 선반의 ATC 공구대를 일정한 간격으로 위치결정 운동을 하게 하여 반환점을 거쳐 다시 시작점으로 복귀하도록 한다. 그리하여, 각 위치의 실제 위치를 각종 계측기에 의해 측정하여 그 위치결정 정도를 표현하고 분석하는 것이다.



다.

$$\Delta x_i = x_i - x_i', \quad (i=1, 2, \dots, n, n+1, \dots, 2n) \quad [5]$$

$$\Delta z_i = z_i - z_i', \quad (i=1, 2, \dots, n, n+1, \dots, 2n) \quad [6]$$

여기에서,  $\Delta x_i$ : x-축 방향의 i점의 위치결정 오차 또는 위치편차( mm 또는  $\mu\text{m}$ ),

$\Delta z_i$ : z-축방향의 i점의 위치결정 오차 또는 위치편차( mm 또는  $\mu\text{m}$ ),

$x_i$ : x-축방향의 i점의 목표위치(mm),

$x_i'$ : x-축방향의 i점의 실제위치(mm),

$z_i$ : z-축방향의 i점의 목표위치(mm),

$z_i'$ : z-축방향의 i점의 실제위치(mm)

$i = 1, 2, \dots, n$ : 전진 사이클의 위치,

$i = n+1, n+2, \dots, 2n-1, 2n$ : 복귀 사이클의 위치

### 3. 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정 시스템 구성

직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정 시스템 구성은 Fig. 3과 같다. x-축 리니어 스케일과 z-축 리니어 스케일을 NC 선반의 ATC 공구대의 이동부분에 부착을 시킨 후, 위치결정하게 한 후 정지중에 x-축과 z-축 리니어 스케일에서 측정된 오차 데이터를 컴퓨터로 출력하여 저장한다.

리니어 스케일은 광학식으로 간섭 스케닝원리에 의해 신호를 발생시키는 것으로, 스케닝 레티클(recticle)은 굴절된 빔의 성분을 발생하고 중첩시키는 투명한 상(phase)의 그레이팅(grating)으로 되어 있다. 스케일 그자체는 반사형의 상 그레이팅(phase grating)이다. 여기에서, -상(phase)을 맺는 원리로서 - 빔원은 LED와 집속렌즈로 된 장치이다.

간섭 스케닝은 굴절의 순서로 0와 +1, 그리고 -1의 3개의 빔성분이 필수적으로 인덱스 그레이팅(index grating)에서 발생한다. 이 빔성분들은 스케일의 상 그레이팅(phase grating)에서 나시 한번 굴절의 0순서가 제거된 점에서 굴절된다.

현재 스케일에서 반사된 순서의 +1과 -1의 빔 성분들은 그들의 상 위치(phase positions)에서

거리정보를 포함하고 있고, 인덱스 그레이팅에서 간섭을 초래한다. 그 결과로서 얻어지는 빔의 변조에 의해 광전소자는 3개의 하이텐-하인 회사(Heiden-hain co.)의 엔코더 특성을 갖는 2개의 90° 상 전이(phase shifted)된 신호로 전환되는 3개의 120° 상 전이(phase shifted)된 신호를 발생한다.

다음 Table. 1, 2는 직선 사이클 평면 위치결정 측정 시스템 구성에 사용된 리니어 스케일의 재원이다.

Table. 1 Linear scale specification  
( LF 183, Heidenhein co., Germany)

Items	Specifications
Masureing standard	DIADUR phase grating on steel
Grating period:	8 $\mu\text{m}$
Thermal expansion coefficient:	$\alpha_{\text{therm}} \approx 3 \mu\text{m}$ $\approx \pm 0.000012 \text{ ir}$
Output Signals/ Signal Periods	$\sim 1 \text{Vpp}/$ 4 $\mu\text{m}$
Accuracy grades	$\pm 2 \mu\text{m} (\pm 0.00008 \text{ in.})$
Recomm'd meas. steps	1 $\mu\text{m}$ to 0.1 $\mu\text{m}$
Measuring lengths	ML340 mm(13.4 in.) ML540 mm(21.3 in.)
Vibration (55 to 2000 Hz)	$\leq 200 \text{mg}$ (IEC 68-2-6)
Shock (11 ms)	$\leq 300 \text{mg}$ (IEC 68-2-27)
Power supply	5V $\pm 5\%$ / < 150 mA (with terminating resistor $Z_0 = 120 \Omega$ )

Table. 2 PC Counter Cards for two incremental Linear Scales (IK 121V, Heidenhein co., Germany)

Item	Specifications
Signal inputs	2 $\times \sim 1 \text{Vpp}$
Signal subdivision (Signal period : meas. step)	Up to 1024-fold
Max. input frequency	400 kHz
Counter (per channel)	32 bits
Driver software	Turbo Pascal

#### 4. 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정방법

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정장치의 설치는 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이, 리니어 스케일을 L-bar에 고정시키고 x-축방향과 z-축방향으로 두 개의 리니어 스케일이 서로 수직이 되도록 마그네트 베이스(Magnet base)로 고정시킨다.

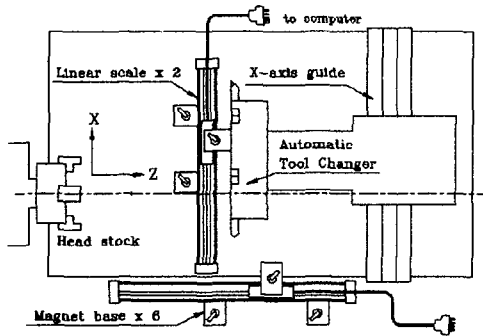


Fig. 3 Setting of linear scales on NC lathe.

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정방법은 먼저, 데이터를 얻을 수 있는 컴퓨터 프로그램을 가동시켜 리니어 스케일의 시작점을 영(0)으로 초기화하고, 측정 데이터를 받아들일 준비를 하고, 다음에 NC 선반을 가동시켜 ATC 공구대의 이동량이 0.001 mm 이상이 되면 측정 데이터를 받아들이기 시작한다.

한편, 컴퓨터에서는 1초에 18.2개의 시각 펄스가 나오는 데, 이것을 이용하여 리니어 스케일에서 측정 데이터를 일정한 시간간격으로 받아들인다. 그리하여 ATC 공구대가 위치결정 후 정지 중에 위치결정 오차 데이터를 판별하여 컴퓨터의 메모리에 저장하게 한다.

위치결정 오차 데이터를 판별하는 방법은 정지 중에는 측정 데이터의 값이 거의 일정하기 때문에 현재 읽힌 데이터와 바로 전에 읽어들이는 데이터의 차가 0.001 mm 이하가 되면 측정값으로 간주하도록 프로그램을 구성하였다.

직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 얻어진 데이터는 Fig. 4에서 보여주는 바와 같은 처리과정을 거쳐 오차 데이터를 데이터 파일로

만들어 자료화하여 그래프로 처리하도록 한다.

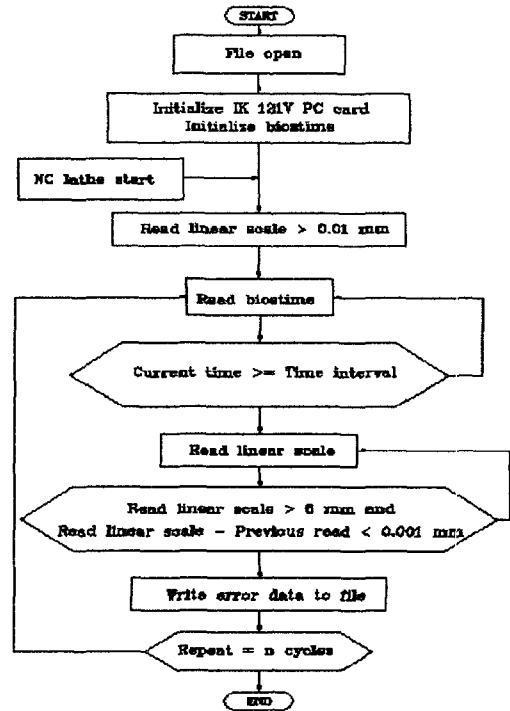


Fig. 4 Flow chart for linear cycle plane positioning accuracy test.

#### 5. 측정 데이터의 처리

직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 얻어진 위치결정 오차 데이터는 전진방향과 복귀방향의 위치결정 오차값의 변동양상을 그림으로 나타내고, 각 목표위치의 위치결정 오차값을 표기하도록 구성하였다.

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 시작점의 복귀 오차 또는 복귀 위치편차  $\Delta P_0(\Delta x_0, \Delta z_0)$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta P_0 = P_{2n} - P_{2n}' \quad [7]$$

여기에서,  $\Delta P_0$ : 평면상의  $i=0$  위치 즉, 시작점 복귀오차 또는 시작점 복귀 위치편차(mm 또는  $\mu\text{m}$ )

$P_{2n}$  : 평면상의 2n점의 목표위치(mm)

$P_{2n}'$  : 평면상의 2n점의 실제 위치(mm)

각 x-축방향과 z-축방향의 직선 사이클 평면 위치결정 오차 또는 복귀 위치편차는 각각 다음과 같다.

$$\Delta x_0 = x_{2n} - x_{2n}' \quad [8]$$

$$\Delta z_0 = z_{2n} - z_{2n}' \quad [9]$$

여기에서,  $\Delta x_0$  : x-축 방향의 위치결정 오차 또는 위치편차( mm 또는  $\mu m$ )

$x_{2n}$  : x-축 방향의 2n목표위치(mm)

$x_{2n}'$  : x-축 방향의 2n점의 실제위치(mm)

$z_{2n}$  : z-축방향의 2n점의 목표위치(mm)

$z_{2n}'$  : z-축방향의 2n점의 실제위치(mm)

$\Delta z_0'$  : z-축 방향의 위치결정 오차 또는 위치편차( mm 또는  $\mu m$ )

부록 A에는 직선 사이클 평면 위치결정 오차를 그림으로 모델링하고 각 목표점에서의 오차값들을 표로 보여 주고 있다. 특히, 복귀 사이클의 목표점 0위치에서는 시작점 복귀오차를 나타내고 있다.

## 6. 결론

NC 선반에서 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정에서 얻어진 데이터를 분석하고 결론을 요약하면 아래와 같다.

1) 광학식 리니어 스케일 측정 시스템을 이용하여 NC 선반의 직선 사이클 평면 위치결정 운동 오차를 측정하고 그림으로 모델링하여 분석할 수 있었다.

2) 리니어 스케일 측정 시스템에 의한 직선 사이클 평면 위치결정 정도 측정은 설치와 측정이 용이하나 측정기가 직접 NC 선반상에 설치되므로 NC 선반에서 전달되는 진동과 외란을 피할 수 없다.

## 7. 참고문헌

- (1) JIS B6336(1986), Test code for performance and accuracy of machining centers.
- (2) ISO 230-1(DIS:1992), Acceptance code of machine tools, part 1, Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions.
- (3) ISO 230-2(1988), Acceptance code of machine tools, part 2, Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled machine tools.
- (4) 박희재, 김인기, "볼 스크류 전구간 피치오차 측정시스템(Precision Measurement System for Ball Screw Pitch Error)", 한국정밀공학회, '94년 추계 학술발표대회 논문집 pp. 279-285, 1994.
- (5) 정제일, 김홍석, 김종원, "고정밀이송계의 위치결정오차 보정기술(Position Error Compensation Technology for Precise Feed-Drive System)", 한국정밀공학회지, 제17권 제12호, pp. 34-40, Dec, 2000.
- (6) 홍성오, 조규재, 김제열, "CNC선반에서 불나사 열변형에 따른 위치결정 정도 개선에 관한 연구(A Study on Improvement of Accuracy of Positioning Induced Thermal Deformation of the Ball Screw in CNC Lathe)", 한국공작기계학회지, 제8권 제1호, pp. 45-51, Feb. 1999.
- (7) 전언찬, 남궁석, 廣田康宏. "CNC 공작기계의 위치결정 정밀도 향상에 관한 연구(An Improvement of Positioning Accuracy for CNC Machine Tools)", 한국정밀공학회지 제11권 제6권, Dec. 1994.
- (8) W.Knapp, A.Wirtx, "Accuracy of Length Measurement and Positioning(Statical Measurement and Contouring Mode)", CIRP., Vol.37 pp.551-514, 1988.
- (9) 전언찬, 小山田 重德, 梶正臣, 角田 鞠一郎. "2차원 프로브에 의한 NC 공작기계의 운동정밀도 측정(Measurement of Motion Accuracy by Two-dimensional Probe on NC Machine Tools)", 한국정밀공학회지, 제14권 제7호, pp.15-21, Jul. 1997.

(10) 이상윤, 박준호, 조선휘, 김문상. "수치제어 공작기계의 위치오차 측정 및 보정시스템개발", 대한기계학회논문집, Vol. 17, No. 6, pp.1431-1440, 1993.

(11) Nakazawa, H, Ito, K, "Measurement System of Contouring Accuracy of NC Machine Tools", Bulletin of the JSPE. Vol. 12, No. 4, pp.189-194, 1978.

- 부록 A -

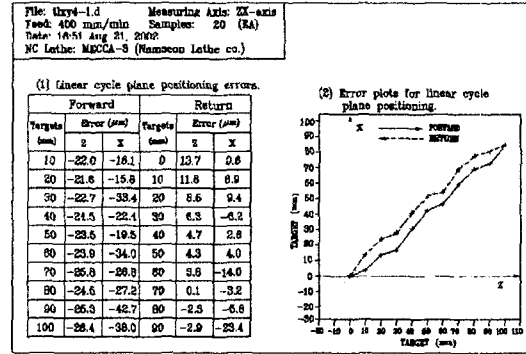


Fig. A-3 Analysis of Linear Cycle Plane Positioning Accuracy of NC Lathe

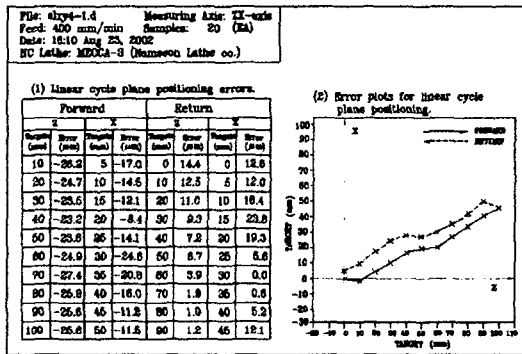


Fig. A-1 Analysis of Linear Cycle Plane Positioning Accuracy of NC Lathe

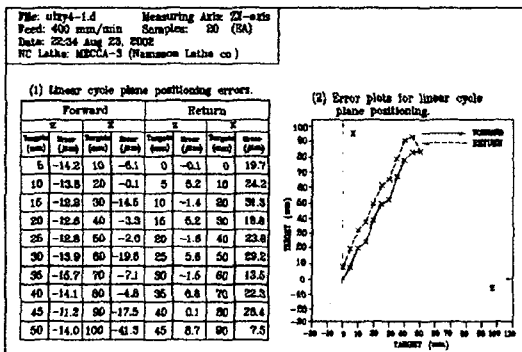


Fig. A-2 Analysis of Linear Cycle Plane Positioning Accuracy of NC Lathe